Gasverdichtungs - Versuche.

Von Dr. J. Natterer.

Die Resultate der über die Verdichtung der Gase unter sehr hohem Drucke angestellten Versuche, welche ich schon in meinen früheren Berichten [1]) bekannt machte, haben es beinahe zur Gewissheit gemacht, dass man durch die blosse Anwendung des mechanischen Druckes kaum das gewünschte Ziel, nämlich die permanent ausdehnsamen Gase in den flüssigen und festen Zustand überzuführen, je erreichen wird. Die Hindernisse, welche der ferneren Fortsetzung der Versuche in dieser Richtung hemmend entgegentraten, habe ich in denselben Berichten bereits erwähnt.

Da ich aber nun in dem Besitze des mit so viel Mühe und Geldopfern verfertigten Apparates war, so wollte ich, führte er auch nicht zur Erzielung der erwünschten Resultate, doch mit ihm noch fernere Versuche anstellen, welche, wenn sie auch wegen der grossen angewandten Kräfte auf scharfe wissenschaftliche Genauigkeit keinen Anspruch haben machen können, immerhin Wissenswerthes genug zu liefern vermögen. Auch dürfte kaum ein zweiter ähnlicher Apparat vorhanden sein, und es sind nicht nur persönlicher Muth, sondern hauptsächlich praktische mechanische Kenntnisse erforderlich, um derlei Untersuchungen durchzuführen. In meinem zweiten Berichte habe ich schon auf ein Verfahren hingewiesen, die Atmosphären-Zahl bei so bedeutendem Drucke annäherungsweise bestimmen zu können, jedoch konnte man dadurch nur eine bestimmte Anzahl Atmosphären und diese nur sehr ungenau ermitteln.

Meine früheren Versuche lehrten schon, dass die Gase bei sehr hohem Drucke dem Mariotte'schen Gesetze nicht mehr folgen, sondern sich in einem weit geringeren Verhältnisse zum ausgeübten Drucke verdichten lassen und dass bei gleichem Drucke die Dichte der einzelnen Gase verschieden sei. Es war daher erforderlich, den Apparat so einzurichten, dass man das Verhältniss des angewandten

[1]) Sitzungsberichte der kais. Akademie der Wissenschaften, mathem.-naturw. Classe Bd. V, S. 351, 1850 und Bd. VI, S. 557, 1851.

Druckes zur Dichte der Gase bei sehr verschiedener Pression ermitteln konnte.

Zu diesem Ende stellte ich den Apparat so her, dass man während des Comprimirens immer den Druck im Recipienten erkennen und durch Rechnung die Atmosphären-Anzahl bestimmen konnte. Ich brachte daher an jenem stählernen Stücke, womit der Recipient am oberen Ende verschraubt ist und zwar in jener Bohrung, worin sich die Ausströmungs-Öffnung befindet, eine stählerne Schraube an, welche durch zwei konische Flächen in luftdichte Verbindung mit dem Recipienten gesetzt werden konnte und worin sich eine sehr genaue cylindrische Bohrung, von $1\frac{1}{2}$ Zoll Länge und 1.445 Wiener Linien im Durchmesser, befand. In dieser Bohrung kann sich ein gehärteter Stahlstift von einem Zoll Länge, welcher mit der grössten Genauigkeit eingeschliffen ist, auf- und nieder bewegen. Das eine Ende dieses Stiftes geht in eine stumpfe Spitze aus, während in dem unteren Ende mittelst einer kleinen Schraube eine Lederkappe befestiget werden kann. Das spitze Ende dieses Stiftes steht eine Linie aus der cylindrischen Bohrung hervor und drückt hier auf einen Hebel-Apparat.

Es kann nämlich an der stählernen Schraube ein $12\frac{1}{2}$ Zoll langes Eisen befestiget werden, welches einem Hebel-Apparate zur Stütze dient. Es sind zwei einarmige Hebel so in Verbindung gebracht, dass einer auf den andern wirkt. Der kürzere Hebel, auf welchen der Stahlstift drückt, hat eine Länge von 11 Zollen. Vom Unterstützungspunkte zum Angriffspunkte ist eine Länge von 1 Zoll. Der längere Arm dieses Hebels geht in eine nach auswärts gebogene stumpfe Spitze aus, welche in eine entsprechende kleine Vertiefung des zweiten Hebels passt. Dieser zweite längere Hebel hat 16 Zoll Länge; der Angriffs- und ein Unterstützungspunkt sind ebenfalls einen Zoll von einander entfernt. Am Ende dieses Hebelarmes ist eine Wagschale aufgehängt zur Aufnahme der Gewichte. Beide Hebel und der längere sammt der Wagschale sind durch angebrachte Gegengewichte so belastet, dass der Schwerpunkt durch den Unterstützungspunkt geht und daher das Gewicht der Hebel ganz ausser Acht gelassen werden kann. — Wird nun im Recipienten ein Gas verdichtet, so drückt der kleine Stahlstift gegen den kürzeren Hebel und dessen spitzes Ende auf den längeren Hebel, wodurch die Wagschale gehoben wird. Da die Länge des kürzeren Hebels

11 Zoll, die des längeren 16 Zoll beträgt, die beiden Unterstützungspunkte von den Angriffspunkten nur 1 Zoll entfernt sind, so wird ein in die Wagschale gelegtes Gewicht einem auf die untere Fläche des Stahlstiftes ausgeübten Drucke, welcher dem 176fachen jenes aufgelegten Gewichtes entspricht, das Gleichgewicht halten.

Da der Durchmesser des Stahlstiftes 1·445 Wiener Linien beträgt, so ist die Fläche, worauf das Gas drücken kann, 1·6412 Quadrat-Linien gross. Eine Atmosphäre übt daher auf die untere Fläche des Stahlstiftes einen Druek von 81.377 Grammen. Für jede Atmosphäre ist daher ein Gewicht von 0.462 Grammen in der Wagschale erforderlich. Man ist mit dieser Vorrichtung im Stande den Druck im Recipienten jeden Augenblick mit ziemlicher Genauigkeit anzugeben. Nur muss man auf die Reibung des Stahlstiftes immer Rücksicht nehmen, indem zu dessen Bewegung eine directe Belastung von beiläufig 800 Grammen, daher ein Druck von nahe 10 Atmosphären erforderlich ist.

Es war nun noch eine Vorrichtung anzubringen, um das im Recipienten enthaltene Gas-Volumen ermitteln zu können. Zu diesem Behufe brachte ich einen Schraubenhahn mit einer Ausströmungs-Öffnung an, woran ein Kautschuk-Schlauch befestiget wurde, dessen Ende in eine pneumatische Wanne ging. Der Schraubenhahn war so eingerichtet, dass damit ein sehr langsames Entweichen des Gases möglich gemacht werden konnte.

Wird die Schraube des Hahnes etwas zurückgedreht, so kann das Gas durch den Kautschuk-Schlauch in die pneumatische Wanne gelangen, in welcher eine Glasglocke derart mittelst Räder und einem angebrachten Gegengewichte aufgehängt ist, dass sie sich in dem Masse hebt, als Gas in selbe einströmt, so dass der Druck des zu messenden Gases immer gleich ist dem Drucke der Atmosphäre. Die Glasglocke ist in 80 gleiche Raumtheile getheilt, dessen jeder den Rauminhalt des Recipienten nämlich 60 Kubik-Centimeter enthält. — Sauerstoff konnte nur bis zu einem Druck von 1350 Atmosphären verdichtet werden, indem es sich schon bei meinen früheren Versuchen zeigte, dass das Öl, womit das Ventil-Leder befeuchtet ist, bei höherem Druck sich entzündete. wodurch ein Entzünden des Stahles und eine Zertrümmerung des Recipienten hätte herbeigeführt werden können. Der Verschluss des Stahlstiftes mittelst der Lederkappe in der cylindrischen Bohrung hat allen Anforderungen entsprochen.

Es wurde unmittelbar an die Lederkappe ein Gemenge von Öl und Talg gegeben, welche zähe Masse nicht so leicht durch die Poren des Leders gepresst werden konnte. Der gefüllte Recipient liess selbst, wenn er mehrere Tage hindurch stehen blieb, kein Gas entweichen.

Mit diesem Apparate wurde das Gas im Recipienten so weit verdichtet, bis ein Gewicht von 1290 Grammen in der Wagschale gerade noch gehoben wurde. Es war dann im Recipienten ein Druck von beiläufig 2790 Atmosphären enthalten. Nun wurde mit der Bestimmung des Verhältnisses des Druckes zum Volumen begonnen. Würde das Mariotte'sche Gesetz bei so hohem Drucke noch richtig sein, so müsste, wenn man 10 Raumtheile Gas aus dem Recipienten entweichen lässt, auch der Druck in demselben um 10 Atmosphären geringer werden. Die Erfahrung hat aber gelehrt, dass dies in einem weit grösseren und bei den einzelnen Gasen in einem sehr verschiedenen Verhältnisse geschieht. Denn, wie aus den angehängten Tabellen zu ersehen ist, sinkt der Druck bei 2790 Atmosphären, wenn 10 Volumina Gas entwichen sind, nicht um 10 Atmosphären, sondern bei Wasserstoffgas um 101, bei Stickgas um 136, bei atmosphärischer Luft um 131 und bei Kohlenoxydgas um 163 Atmosphären.

Aber auch das Volumen ist bei den verschiedenen Gasen nicht dasselbe, welches sich durch den gleichen Druck von 2790 Atmosphären in den Recipienten pressen lässt. Denn es waren unter diesem Drucke bei Wasserstoffgas 1008, bei Stickgas 705, bei atmosphärischer Luft 726 und bei Kohlenoxydgas 727 Volumina im Recipienten enthalten. Es ist daher Wasserstoffgas am meisten und Stickgas am wenigsten zusammendrückbar.

Nun wurden wieder 10 Raumtheile Gas aus dem Recipienten in die Glasglocke gelassen und das gehobene Gewicht in der Wagschale bestimmt und dieses Verfahren so lange wiederholt, bis der Recipient leer war.

Es wurden die Versuche mit jedem Gase mehrere Male vorgenommen und zwar immer bei ziemlich gleichem Barometerstande und derselben Temperatur. Die Zahlen der folgenden Tabellen sind Mittel aus den einzelnen Versuchen. Die Ziffer in der ersten Spalte ist die Anzahl der Grammen, welche in der Wagschale noch gehoben wurden, die in der zweiten zeigt die im Recipienten enthaltenen Volumina an. Die Ziffer der dritten Spalte zeigt den Druck

in Atmosphären ausgedrückt und die der vierten Spalte die Differenz je zweier über einander stehender Zahlen der dritten Spalte, aus diesen letzteren Zahlen sieht man das Abnehmen des Druckes, wenn 10 Raumtheile Gas entwichen sind. Um z. B. in einen Raum 1008 Volumina Wasserstoffgas zu pressen, ist ein Druck von 2790 Atmosphären erforderlich, für 998 Volumina aber nur 2689, daher um 101 Atmosphären weniger, für 808 Volumina desselben Gases sind 1623 und für 798 sind 1584 daher um 39 Atmosphären weniger erforderlich. —

Zur Bestimmung des Druckes in den Flaschen, welche ich zur Verdichtung der Kohlensäure und des Stickstoffoxyduls benütze, habe ich einen Manometer construirt, welcher auf demselben Principe beruht, wie jene, welche nun bei den Locomotiven in Anwendung sind. Es ist nämlich eine spiralförmig gewundene, etwas abgeflachte, 3 Schuh lange Röhre aus Messingblech so mittelst einer verzahnten Stange und Zahnräder mit einem Zeiger in Verbindung gebracht, dass, wenn dieses Manometer an die Flasche geschraubt wird, man den Druck bis 140 Atmosphären abzulesen im Stande ist.

Wasserstoffgas.

Grammen.	Volumina.	Atmosphären.	Differenz.	Grammen.	Volumina.	Atmosphären.	Differenz.
1290	1008	2790	—	316	498	685	21
1244	998	2689	101	307	488	665	20
1200	988	2594	95	298	478	646	19
1158	978	2505	89	290	468	627	19
1120	968	2423	82	282	458	608	19
1085	958	2347	76	274	448	590	18
1053	948	2277	70	266	438	573	17
1024	938	2213	64	258	428	556	17
996	928	2154	59	250	418	539	17
970	918	2098	56	242	408	522	17
945	908	2044	54	234	398	505	17
922	898	1995	49	226	388	488	17
900	888	1948	47	218	378	471	17
880	878	1904	44	210	368	454	17
861	868	1862	42	203	358	438	16
843	858	1821	41	196	348	423	15
824	848	1781	40	189	338	408	15
805	838	1741	40	182	328	393	15
786	828	1701	40	175	318	379	14
768	818	1662	39	169	308	365	14
750	808	1623	39	165	298	352	13
732	798	1584	39	157	288	339	13
715	788	1546	38	151	278	326	13
697	778	1508	38	145	268	313	13
679	768	1471	37	139	258	300	13
663	758	1434	37	133	248	287	13
646	748	1398	36	127	238	274	13
630	738	1362	36	121	228	261	13
613	728	1326	36	115	218	248	13
597	718	1292	34	109	208	235	13
582	708	1259	33	103	198	222	13
567	698	1226	33	97	188	209	13
552	688	1194	32	91	178	196	13
538	678	1164	30	85	168	183	13
525	668	1134	30	79	158	170	13
512	658	1104	30	74	148	158	12
498	648	1074	30	68	138	146	12
484	638	1044	30	62	128	134	12
470	628	1015	29	56	118	122	12
456	618	986	29	51	108	111	11
443	608	958	28	46	98	100	11
430	598	930	28	41	88	89	11
417	588	903	27	36	78	78	11
404	578	876	27	31	68	68	10
392	568	850	26	26	58	58	10
380	558	824	26	21	48	48	10
368	548	799	25	17	38	38	10
357	538	775	24	12	28	28	10
346	528	751	24	8	18	18	10
336	518	728	23	4	8	8	10
326	508	706	22	—	0	0	8

Sauerstoffgas.

Grammen.	Volumina.	Atmosphären.	Differenz.	Grammen.	Volumina.	Atmosphären.	Differenz.
626	657	1354	—	154	317	334	12
594	647	1284	70	149	307	322	12
564	637	1218	66	143	297	310	12
537	627	1160	58	138	287	298	12
512	617	1106	54	133	277	287	11
489	607	1056	50	127	267	276	11
467	597	1010	46	122	257	265	11
446	587	966	44	117	247	254	11
426	577	923	43	112	237	243	11
407	567	881	42	107	227	232	11
388	557	840	41	101	217	221	11
370	547	800	40	97	207	210	11
353	537	764	36	92	197	199	11
337	527	731	33	87	187	188	11
323	517	700	31	82	177	177	11
309	507	670	30	77	167	167	10
296	497	641	29	73	157	157	10
284	487	614	27	68	147	147	10
272	477	588	26	63	137	137	10
260	467	563	25	59	127	127	10
249	457	539	24	54	117	117	10
239	447	517	22	50	107	107	10
230	437	497	20	45	97	97	10
222	427	479	18	41	87	87	10
215	417	463	16	36	77	77	10
207	407	448	15	31	67	67	10
201	397	434	14	27	57	57	10
194	387	420	14	22	47	47	10
188	377	407	13	17	37	37	10
182	367	394	13	13	27	27	10
177	357	382	12	8	17	17	10
172	347	370	12	4	7	7	10
166	337	358	12	—	0	0	7
160	327	346	12				

Stickgas.

Grammen.	Volumina.	Atmosphären.	Differenz.	Grammen.	Volumina.	Atmosphären.	Differenz.
1290	705	2790	—	195	345	423	21
1227	695	2654	136	186	335	403	20
1166	685	2522	132	178	325	384	19
1106	675	2394	128	170	315	367	17
1050	665	2272	122	162	305	351	16
997	655	2156	116	155	295	336	15
946	645	2046	110	148	285	321	15
897	635	1940	106	142	275	306	15
850	625	1838	102	135	265	292	14
804	615	1738	100	128	255	278	14
758	605	1640	98	122	245	265	13
715	595	1546	94	117	235	252	13
674	585	1458	88	111	225	240	12
636	575	1376	82	106	215	228	12
601	565	1300	76	101	205	217	11
567	555	1228	72	95	195	206	11
536	545	1159	69	90	185	195	11
507	535	1095	64	85	175	184	11
479	525	1035	60	80	165	173	11
453	515	980	55	75	155	162	11
429	505	928	52	70	145	151	11
408	495	882	46	64	135	140	11
388	485	840	42	59	125	129	11
370	475	801	39	54	115	118	11
353	465	764	37	49	105	107	11
337	455	729	35	44	95	96	11
321	445	695	34	39	85	85	11
306	435	662	33	34	75	75	10
292	425	630	32	30	65	65	10
278	415	600	30	25	55	55	10
264	405	570	30	20	45	45	10
251	395	542	28	16	35	35	10
238	385	515	27	11	25	25	10
226	375	489	26	6	15	15	10
215	365	466	23	3	5	5	10
205	355	444	22	—	0	0	5

Atmosphärische Luft.

Grammen.	Volumina.	Atmosphären.	Differenz.	Grammen.	Volumina.	Atmosphären.	Differenz.
1290	726	2790	—	195	356	420	19
1230	716	2659	131	186	346	401	19
1170	706	2531	128	177	336	383	18
1112	696	2405	126	170	326	367	16
1055	686	2283	122	162	316	352	15
1000	676	2165	118	156	306	338	14
948	666	2051	114	150	296	325	13
898	656	1943	108	144	286	312	13
852	646	1843	100	139	276	300	12
808	636	1747	96	133	266	288	12
766	626	1656	91	127	256	276	12
725	616	1570	86	122	246	264	12
688	606	1490	80	117	236	252	12
654	596	1413	77	111	226	240	12
620	586	1340	73	106	216	228	12
589	576	1273	67	101	206	217	11
561	566	1212	61	96	196	206	11
535	556	1156	56	90	186	195	11
510	546	1101	55	85	176	184	11
485	536	1047	54	80	166	173	11
459	526	993	54	75	156	162	11
435	516	941	52	70	146	151	11
412	506	891	50	65	136	140	11
389	496	843	48	60	126	129	11
368	486	796	47	55	116	118	11
348	476	753	43	50	106	107	11
329	466	713	40	45	96	96	11
312	456	676	37	40	86	86	10
296	446	642	34	35	76	76	10
282	436	610	32	30	66	66	10
269	426	580	30	26	56	56	10
256	416	553	27	21	46	46	10
245	406	528	25	16	36	36	10
234	396	504	24	12	26	26	10
223	386	481	23	7	16	16	10
212	376	459	22	3	6	6	10
203	366	439	20	—	0	0	6

Kohlenoxyd-Gas.

Grammen.	Volumina.	Atmosphären.	Differenz.	Grammen.	Volumina.	Atmosphären.	Differenz.
1290	727	2790	—	182	357	394	14
1215	717	2627	163	176	347	381	13
1145	707	2477	150	170	337	368	13
1082	697	2339	138	164	327	355	13
1021	687	2209	130	159	317	343	12
965	677	2088	121	153	307	331	12
912	667	1974	114	147	297	319	12
863	657	1867	107	141	287	307	12
817	647	1767	100	136	277	295	12
775	637	1674	93	131	267	283	12
732	627	1584	90	125	257	271	12
690	617	1498	86	120	247	259	12
655	607	1416	82	115	237	248	11
618	597	1338	78	110	227	237	11
584	587	1264	74	105	217	226	11
554	577	1196	68	100	207	215	11
525	567	1133	63	95	197	204	11
496	557	1073	60	89	187	193	11
470	547	1016	57	84	177	182	11
445	537	962	54	79	167	171	11
422	527	911	51	74	157	160	11
398	517	861	50	69	147	149	11
376	507	814	46	64	137	138	11
356	497	771	43	59	127	127	11
338	488	732	39	54	117	117	10
321	477	695	37	50	107	107	10
305	467	661	34	45	97	97	10
291	457	629	32	41	87	87	10
277	447	599	30	36	77	77	10
264	437	570	29	31	67	67	10
251	427	542	28	27	57	57	10
238	417	515	27	22	47	47	10
226	407	489	26	17	37	37	10
215	397	465	24	13	27	27	10
205	387	443	22	8	17	17	10
197	377	424	19	4	7	7	10
189	367	408	16	—	0	0	7